

# 7章 津波防御に関する工学的的手法

## 一耐津波設計の概念構築に向けて

### ● 7章 メンバー

#### 旧検討事項

今村文彦	東北大学	津波工学	7.1 津波防御に関する技術のレビュー(多重防災機能) 7.2 基準津波・設計津波について 7.7 津波関連情報の活用
有賀義明	弘前大学	地震工学	7.2 基準津波・設計津波について 7.4 要求性能の工学的実施, 7.5 工学的提案
飯田晋・飯塚雅之	東北電力	プラント運転管理	7.2 基準津波・設計津波について 7.3 津波防御に関する技術のレビュー(アンケート)
石黒幸文・東川直樹	中部電力	電力土木	7.2 基準津波・設計津波について 7.3 津波防御に関する技術のレビュー(アンケート) 7.5 工学的提案, 7.7 津波関連情報の活用 7.9 工学的手法の整理と提案および課題
庄司学	筑波大学	ライフライン防災	7.3 要求性能の工学的実施 7.6 要求性能の回復力(Resilience)
高橋郁夫	清水建設	耐震工学	7.4 要求性能の工学的実施, 7.5 工学的提案 7.6 要求性能の回復力(Resilience) 7.9 工学的手法の整理と提案および課題
奈良林直	北海道大学	原子炉工学	7.8 海外での津波防御の事例

# 検討事項(旧)

- 7.1 はじめに, 津波防御に関する技術のレビュー
  - 多重防御の機能を有する技術の体系化に向けた機能(防水, 耐水, 避水など)
- 7.2 基準津波・設計津波について
  - 基準津波の考えの整理と工学的な対応を検討する際の基準津波の考え方
- 7.3 津波防御に関する技術のレビュー
  - 既存の技術, 施設やシステムなどのレビュー(アンケート調査など)
- 7.4 要求性能の工学的実施
  - 各深層防護レベルの要求性能の整理
  - 各地域・各段階での防御機能
- 7.5 津波防御のための工学的提案
  - 工学的視点から見た津波防御の目的
  - 基本的考え方, 津波防御の具体策
- 7.6 要求性能の回復力
  - 原子力安全を踏まえた回復力の定義
  - 回復力を維持するための工学的な方法(排水, がれき処理, 体制など)
- 7.7 津波関連情報の活用
  - 沿岸での津波の監視・観測の現状とその活用方法
  - サイトや施設内での津波の挙動, 影響の監視・観測
- 7.8 海外での事例
- 7.9 提案事例

# 検討事項(新)

- 各深層防護レベルの津波防御の要求性能との対応を明確に
- => 章の構造を変更:
- 7.1 はじめに(津波防御の目的)
- 7.2 津波防御の要求性能への工学的対応
- 7.3 設計津波及び津波制御施設・設備設計の考え方
- 7.4 津波防御のための工学的手段
- 7.5 津波防御に関する工学的施策の取組状況(2013年5月時点)
- 7.6 津波関連情報の活用
- 7.7 海外の津波防御の事例
- 7.8 工学的手法の整理と提案及び課題

# 7.1 津波防御の工学的手法

- 目的;耐津波性向上のため,津波への**防御施設, 対策・対応を相互に関連性**させ、発生時から来襲・浸入,収束,さらに回復までの間,津波の**外力・影響を最小化**させる.
- 深層防御(多相性)等の視点での工学的手法の提案を図る.
- 対象エリアに応じた津波来襲・外力の特性を踏まえて,**水理工学に加えて, 構造工学等の検討や対策・対応の考えの整理**し,必要な**工法やシステム**を提案する.

# 7.1 検討での視点

- 津波および災害の特殊性
  - 地震発生後に伝播し、**サイトや周辺施設に作用する**
  - 来襲までに**猶予時間**がある。**来襲の継続時間が長い**、影響範囲もサイト周辺も含めて広い。サイト周辺の相互影響が大きい。波源位置とサイトの位置関係により**影響が異なる**
  - 津波来襲による**随伴事象**（土砂移動、漂流物、火災など）がある。
- 津波の作用・影響の過程の整理
  - 発生、伝播、陸上遡上、建屋への浸入・移動、漂流物移動、複数の来襲、収束・排水

## 7.2 津波防御の要求性能への工学的対応

- 各深層防護レベルの津波防御の要求性能
- 設計津波と想定津波（回避，隔離，対抗，強化対応）

表 7.2-1 津波防御の要求性能への工学的対応

深層防護 レベル	津波防御の要求性能	津波防御への工学的対応		
		工学的対応方法	対象とする津波との関係	
1	敷地を津波から護る (津波の敷地への浸入防止)	防水や浸入防止による津波の「回避」	設計水準津波に対する設計で達成すべきもの	設計津波
2	施設を津波から護る (津波の施設への浸入防止)	耐水性や水密性による津波からの「隔離」(津波に対する個別的防御技術), 津波高さの検知	事故水準津波に対する設計で達成すべきもの	
3	早期に津波の影響から復帰する	遮水や排水による津波への「対抗」		
4	アクシデントマネジメントの措置を施す	津波防御の「強化」	想定事故津波への対応	
5	地域との連携	地域への津波影響評価と対応, 放射性物質の重大な放出がなされる事態への対応		

# 設計津波と想定津波を新たに定義

- 設計津波(Design Tsunami)
  - 異常発生防止用SSC設計のための設計津波(深層防護レベル1-3に対応)
- 想定津波(Severe-Accident Tsunami)
  - アクシデントマネジメント策および原子力防災の有効性評価のような設計基準を超える想定津波(深層防護レベル4, 5に対応)
  - 通常:[設計津波]
  - 「海岸保全施設である海岸堤防等の設計に必要となる津波」となり, ハード中心とした津波対策を検討する際の津波である。東日本大震災では, レベル1・2などを対象として, 国土交通省「設計津波の水位の設定方法等<sup>2), 3)</sup>」を提案している。
  - [想定津波]
  - 対策, 計画, 設計など実施をする際に想定すべき(検討すべき)津波であり, 定義の範囲が広い。

# 設計津波の検討

- 設計津波は、最新の科学的・技術的知見を踏まえ、海底地形、地震学的見地から想定することが適切なものを策定し、その評価の信頼性を確保する。また、津波の発生要因として、地震以外の要因及びこれらの組合せによるものを複数選定し、不確かさを考慮して数値解析により策定する。
- さらに、設計津波の策定に際して、津波の挙動は、沿岸部での地形やサイト形状・施設によって大きく変化するため、波源・外洋伝播域とサイト近傍に分けて規定する。具体的には、津波の時刻歴波形を示す際には、施設からの反射波の影響が微少となるように、施設から離れた沿岸域における時刻歴波形を用いることとし、この時刻歴波形は、サイト及びサイト近傍での詳細検討(設計津波の評価)の入力とする。
- 重要な安全機能を有する施設等に対して津波による影響が発生することを防止する施設・設備(以下「津波防御施設・設備」という)の耐津波設計に用いる設計津波については、津波防御施設・設備の設置位置での時刻歴波形とする。

# 7.3 設計津波及び津波制御施設・設備設計の考え方

- 考え方
- 設計津波の作用効果
- 設計津波の設定
- 新規制基準(2013)<sup>7.5-1</sup>による外郭・内郭防護
- 耐津波施設・設備の性能と検証

表 7.3-1 津波による作用因子と効果

作用因子	津波の高さ（浮力），浸水時間，津波の流速 衝撃波力，水平力，転倒モーメント
作用及び作用効果（各施設・設備の構造・機能損傷モード）	漏電（浸水・漏水），破壊，滑動，転倒，建物の傾斜・倒壊（洗掘），取水困難（引き波，浮遊砂，漂流物・土砂の堆積） 壁・開口部周り等の損傷・破壊（開口部の破壊）
工学的な対応	防水，耐水，排水，防波，耐波，制波，免波

# 津波の水理(現象)の整理

- **浸水**: 津波(水塊)などが陸上域に浸入している状態。水が入り込む状況。ここでは、静水圧に加えて動水圧もある。
- **没水**: 水塊が浸入し水位が上昇し、施設や構造物が完全に没して、水面下になる状況(水中に隠れてしまう)。ここでは静水圧が支配的になる。
- **冠水**: 没水までとはいかないが、少しでも水につかる状況。ここでは静水圧が支配的になる。
- **被水**: 水塊により少しでも機能を喪失した状態

# ● 基本的な設計方針：

- 1)重要な安全機能を有する施設等が設置された敷地において、津波による遡上波を直接到達、流入させないこと。また、取水路、排水路等の経路から直接流入させないこと。(防水)
- 2)あらゆる経路から取水・放水施設、地下部等へ漏水する可能性を考慮の上、漏水による浸水範囲を限定して、重要な安全機能への影響を防止すること。また、津波の波力・モーメントを評価し、施設・設備に損傷が生じないようにする。(耐水、水密性の維持)
- 3)重要な安全機能を有する施設等については、浸水防護をすることにより津波による影響等から隔離すること。(避水)
- 4)水位下降に伴う取水性低下による重要な安全機能への影響を防止すること。
- 5)津波防御施設・設備については、津波に対して津波防御機能、浸水防止機能が保持できること。
- 6)地震による敷地の隆起・沈降、地震(本震及び余震)による影響、津波の繰り返しの来襲による影響、津波による二次的な影響(洗掘、砂移動、漂流物等)を考慮すること。

表 7.3-3 津波防御施設・設備の性能と検証

性能	定義	性能の検証(確認)
遮断性【防水】	津波(流れ)をさえぎって止める性能。さえぎって、他の動き・作用等が及ばないようにする性能。	一定の全作用力。水圧力(単位面積)に破壊しない、転倒モーメントにより移動しない。基礎等が洗掘されない。漂流物等にも耐えうる。
耐波性【耐水】	津波による作用力に耐える性能。	一定の全作用力。水圧力(単位面積)により破壊しない。漂流物等にも耐えうる。
水密性	水圧力が加わった環境下において密閉した水が外部に洩れない又は内部に水が流入しない性質。	一定の全作用力。水圧力(単位面積)により水が漏れない(実験等で確認)。漂流物等にも耐えうる。
隔絶性【避水】	影響が及ばないように離れておくこと(性能)。	浸水範囲・高さによる比較。
通水性	水を通す性質(性能)。	一定の全作用力・水圧力(単位面積)による水の通過量。
排水性	冠水した水を排除する性能。	排水能力。

## 7.4 沿岸での建物への影響—構造工学的手法の検討を

- 壁・開口部周り等の損傷・破壊(開口部の破壊)  $\Rightarrow$  1階等の崩壊
- 建物の転倒, 残留変形(倒壊の手前)
- 洗掘による傾斜
- 漂流物の衝突
- 移動・流出(露出型柱脚の破壊, 柱頭接合部の破壊,  $\Rightarrow$  流体力(水平) + 浮力)

## 7.4 津波防御のための工学的的手段

- 津波災害の特徴
- 津波防御の手段
- 回避, 隔離, 対抗
- 原子力発電施設の高所設置の優先度

# 津波防御の手段(3段階)

表 7.4-1 津波防御の手段

手 段		概 要	対 象	
回避	完全回避	<ul style="list-style-type: none"> <li>・本質的な津波防御の基本原則</li> <li>⇒津波が来ない場所に発電所を構える</li> <li>⇒地点選定条件の防災化</li> </ul>	新規地点	
	部分回避	<ul style="list-style-type: none"> <li>・放射線災害に係るものと係わらないものの峻別</li> <li>⇒放射線災害に関係するものを津波が来ない場所に設置</li> <li>⇒放射線災害に着目した部分回避（既設地点では移設）</li> </ul>	新規地点 既設地点	
隔離	完全隔離	<ul style="list-style-type: none"> <li>・発電所全体を構造体によって完全に被覆・隔離する概念（例：ドーム型構造や箱型構造による被覆等）</li> </ul>		
	部分隔離	<ul style="list-style-type: none"> <li>・放射線災害に係るものを集めて、それらを構造体によって被覆・隔離する概念</li> </ul>		
対抗	水理学的 対抗	防波		<ul style="list-style-type: none"> <li>・サイト内への津波の浸入防止（例：防波堤等）</li> </ul>
		防水遮水		<ul style="list-style-type: none"> <li>・サイト内に浸入した津波の構築物/設備等の内部への浸入防止（例：防水扉，遮水壁等）</li> </ul>
		排水		<ul style="list-style-type: none"> <li>・サイトや構築物内に浸入した津波の排水</li> <li>・ヘドロ等の混在物を多く含んだ海水の排水</li> </ul>
	波動への 構造工学的 対抗	耐波	<ul style="list-style-type: none"> <li>・津波による損傷・破壊に耐える構造（形状，方向性等）</li> </ul>	
		制波	<ul style="list-style-type: none"> <li>・津波の破壊力等を軽減・制御する構造</li> </ul>	
		免波	<ul style="list-style-type: none"> <li>・津波の破壊力等を受け流す構造</li> </ul>	



【2】 津波の施設への浸入防止	陸域	原子炉建屋周囲	防潮壁	○	○	○	○	○	○	敷地内に流入した津波が給気口等の開口部から建物内に浸入するのを防ぐため、建物の壁に沿って地上に設置される壁体。	
		原子炉建屋壁面	防潮板	○	○	○	○	○	○	敷地内に流入した津波が給気口等の開口部から建物内に浸入するのを防ぐため、建物の開口部周辺に付加的に設置される壁体。	
		原子炉建屋出入口	強化扉	○	○	○	○	○	○	○	・サイト内に流入した津波が建物内に浸入するのを防ぐため、建物の出入口や搬出入口に設置される強度の高い厚い扉。 ・人や車の出入口、資材の搬入口であり、非常時に閉鎖が容易にできる必要があること等から、人力で可動であることが求められる。
		原子炉建屋内	水密扉	○	○	○	○	○	○	○	・建物内に浸入した津波または建物内で発生した溢水が重要機器のある部屋に浸入するのを防ぐ、水密性の高い区画扉。
		配管貫通部	止水処理	○	○	○	○	○	○	○	・配管貫通部から建屋内に津波が流入するのを防ぐため、貫通部をシリコンゴム材等で止水する。
		取水口周辺	防水壁	○	○	○	○	○	○	○	・敷地内の取水ポンプ周辺に海水の浸入を防ぐ壁を巡らす。
【3】 津波の影響からの早期復旧	陸域	敷地境界	防潮堤の排水ゲート	○	○	○	○	○	○	・サイト内に流入した海水を防潮堤の排水ゲートを通して外洋に排出する。	
		取水槽	フラップゲート	○	○	○	○	○	○	・上記の取水槽の溢水防止壁に、排水機能を維持する弁の役割を持つゲートを設置する。	
	敷地内外の道路	地盤強化(改良)	○	○	○	○	○	○	○	・サイト内に浸入した津波で路面が浸食することがないような堅固な地盤とする。 ・津波被害の復旧に必要な機材や資材の移動、外部との交通機能を確保する。	
海域	沿岸海域	オイルフェンスの設置	○	○	○	○	○	○	○	・サイト内外で漏洩したオイル等の化学物質の外洋への拡散を防ぐ。	

【表 7.4-2 の補足説明】

(\*1)

通常時：原子力発電所の発電業務のために常時備わっている施設

非常時：原子力発電所の津波防御を主目的として設置された施設

(\*2)

遮断性：津波の進入を防ぐ能力（高さや広がり）

耐波性：波力に耐える力学的強さ

水密性：津波の圧力に対する密閉性

通水性：流入した海水を排出したり、停留させたりする機能



図 7.4-3 配管貫通部止水シールの例<sup>7.4-5)</sup>

(東北電力・女川原子力発電所)



写真 7.4-4 取水口周辺の防水壁の例<sup>7.4-6)</sup>

(中国電力・島根原子力発電所)

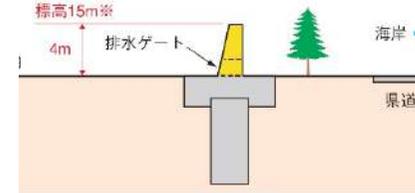


図 7.4-4 防潮堤の排水ゲートの例<sup>7.4-7)</sup>

(北陸電力・志賀原子力発電所)

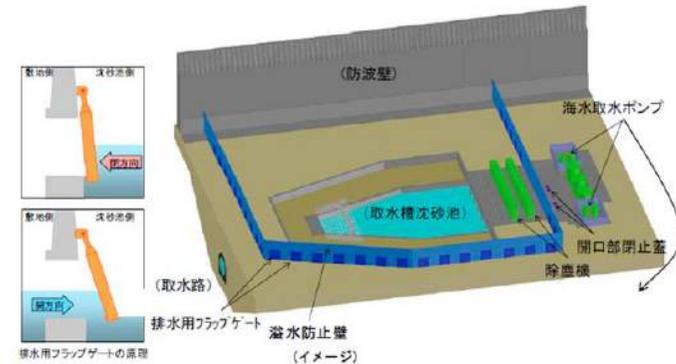


図 7.4-5 溢水防止壁・排水用フラップゲートの例<sup>7.4-2)</sup>

(中部電力・浜岡原子力発電所)

# 津波防御のための工学的手法の模式図 (主として第1-3層)

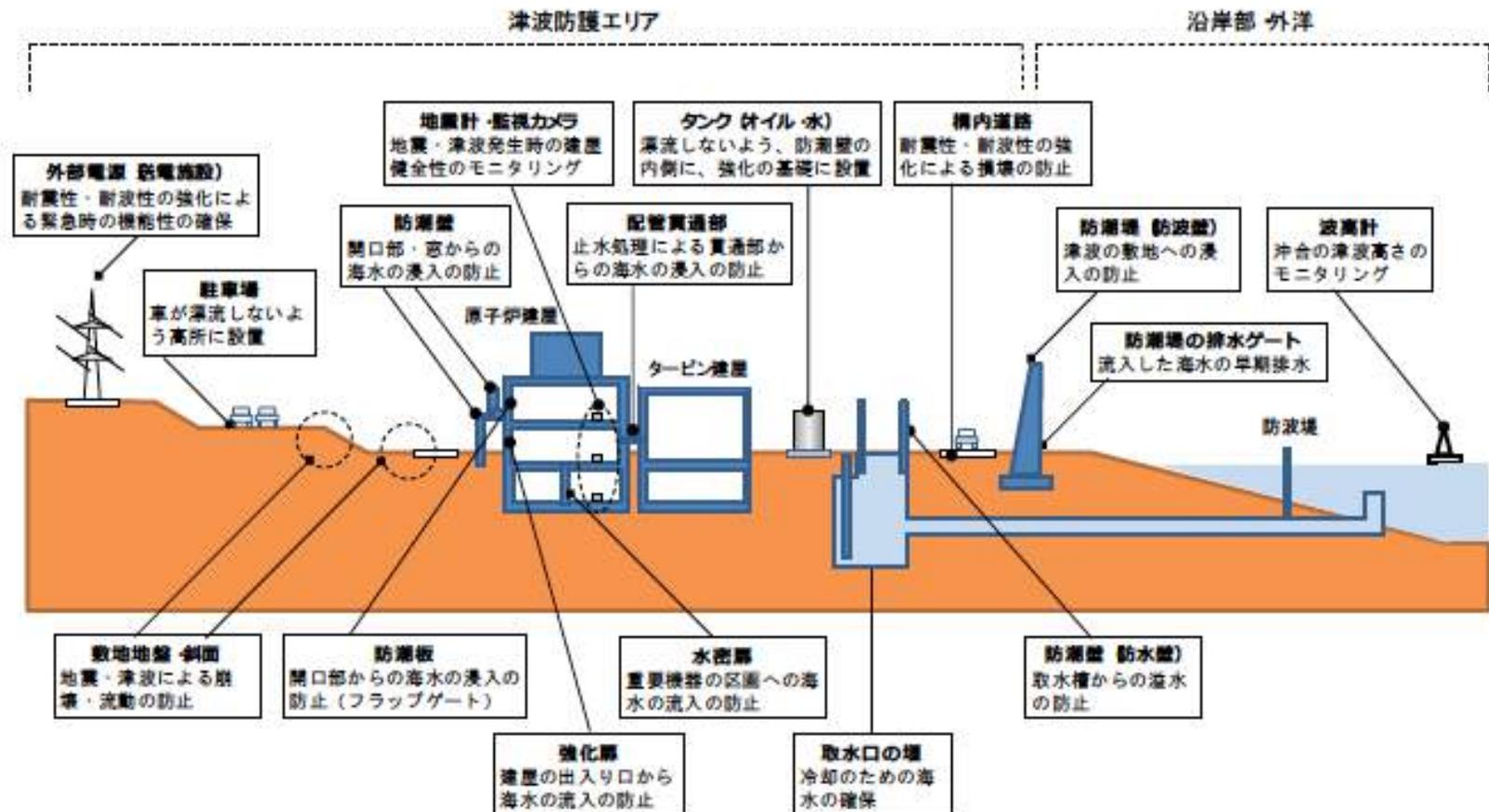
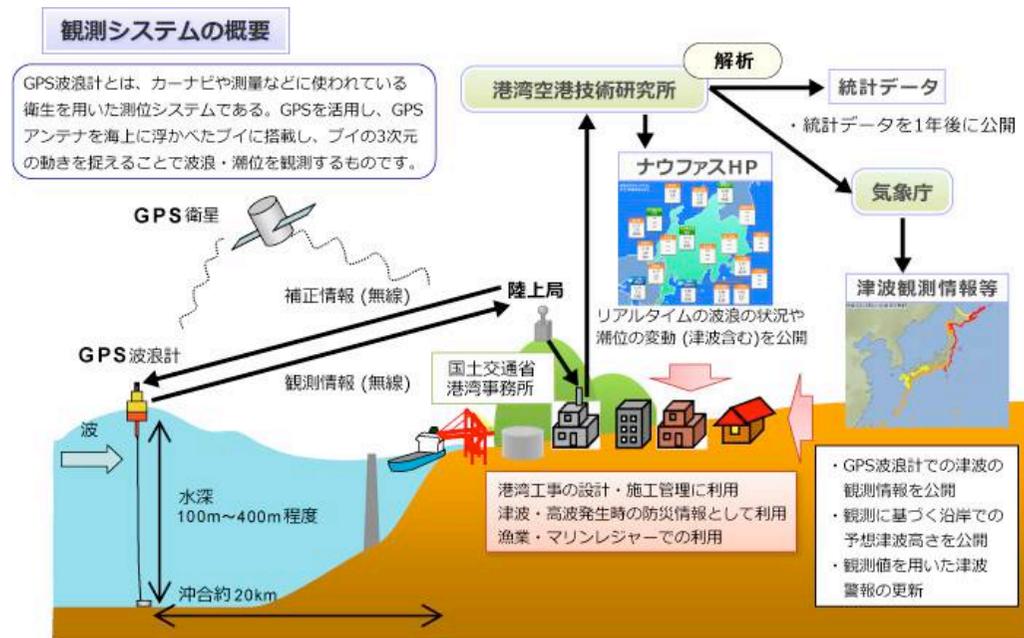


図 7.8-1 津波防御のための工学的手法の模式図 (主として深層防護レベル 1~3 の対策)

# 7.6 津波関連情報の活用

- 沿岸での津波監視・観測の現状とその活用方法
- サイトや施設内での津波挙動, 影響の監視・観測
- 津波関連情報の活用



# 津波関連情報の活用

- (1) 地震発生直後から津波来襲までのフェーズ
- 地震発生からサイトへの津波到達までの時間は、震源断層とサイトとの位置関係等からある程度の幅を有するが、津波到達までの限られた時間の中で、想定される津波規模や必要に応じて以下の対応等を行う。
  - 安全な場所への人員の避難
  - 港湾に停泊中の大型船舶の安全な場所への退避
  - 地震による津波防御施設の破損の有無等の確認
  - 作業等で開放している建屋入口扉等の閉止
  - 津波防御用水門等の閉鎖
- (2) 津波来襲から収束までのフェーズ
- 津波は第一波発生の後、最大波高が発生した後も複数回到来する可能性がある。気象庁による津波観測情報や、各サイト独自に行う津波観測・津波予測の結果等を踏まえて、必要に応じて以下の対応等を行う。
  - サイト内への津波浸入の有無の確認
  - 地震、津波により電源喪失が発生した場合の代替電源の状況確認
  - 原子炉機器冷却系の健全性の確認
- (3) 収束後のフェーズ
  - 津波収束後、必要に応じて以下の対応等を行う。
  - 敷地内に瓦礫、漂流物等が散乱した場合の原子炉建屋等へのアクセスルートの確保
  - 原子炉機器冷却系海水ポンプ等、安全上重要な機器が破損した場合の予備品への取替
  - 沖合やサイト・敷地内での津波観測記録と事前の数値シミュレーション結果の比較による数値シミュレーションの妥当性確認
  -